

УДК 621.11-52: 681.3

ИСТОМИН А.Е., НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ТАНКОВОЙ ПУШКИ

У даній статті розглянуто експериментальні дослідження нейромережевої мікропроцесорної системи наведення танкової гармати. Наведені результати експериментальних досліджень нейромережевої системи керування з нейроконтролером навченим безпосередньо по фізичній моделі системи наведення.

Постановка проблеми. Нейросетевые технологии дают возможность преодолеть недостатки присущие традиционным методам настройки контроллеров по модели объекта управления и позволяют производить настройку (обучение) нейроконтроллера (НК) непосредственно по физической модели объекта. Такая постановка является наиболее привлекательной т.к. она исключает переход от модели к реальному объекту.

Анализ последних исследований и публикаций. Настройка параметров нейрорегулятора по математической модели и нейроэмулятору объекта управления, как показано в работах [1,2,3], дает достаточно хорошие результаты с точки зрения качества получаемых нейросетевых систем управления (НСУ). Однако при переходе от компьютерного моделирования НСУ к реальной системе, возникает проблема доработки, настройки и отладки контроллера в новых условиях. Это связано с тем, что контроллер настраивался на модели объекта, которым ему предстоит управлять в реальных условиях. В большинстве случаев это приводит к достаточно большим временным затратам, пока произойдет полная отладка контроллера.

Формулировка цели. Целью работы является проведение экспериментальных исследований нейросетевой микропроцессорной системы наведения танковой пушки на физической модели объекта.

Физическая модель системы наведения танковой пушки. Разработанная экспериментальная установка структурно представляет собой информационно-управляющий комплекс. Основным управляющим элементом данного комплекса выступает микропроцессорный блок с микроконтроллером, который осуществляет управление системой наведения танковой пушки. Информационная часть состоит из набора датчиков, которые дают информацию о текущем состоянии объекта.

Микроконтроллер соединен с персональным компьютером (ПК) через специальные разъемы каналами ISP и RS-232 интерфейсов. По каналу ISP в микроконтроллер «зашивается» (записывается) рабочая программа (программная реализация нейронной сети), которая реализует нейросетевой закон управления. По каналу RS-232 интерфейса происходит обмен информации микроконтроллера с ПК. С помощью канала RS-232 в ПК передается информация о состоянии объекта, для вычисления показателей качества переходного процесса, а в микроконтроллер поступает информация о задающем воздействии и параметрах настройки НК [3].

Рабочий макет системы наведения представляет собой следящую электромеханическую систему, в состав которой входят следующие элементы:

- 1) плата управления с цифровым регулятором на микроконтроллере;
- 2) исполнительный микродвигатель постоянного тока;
- 3) тахогенератор из такого же двигателя, как и исполнительный;
- 4) потенциометрический задатчик угла;
- 5) потенциометрический датчик угла;
- 6) редуктор;
- 7) объект в виде физической модели системы наведения (рис. 1).

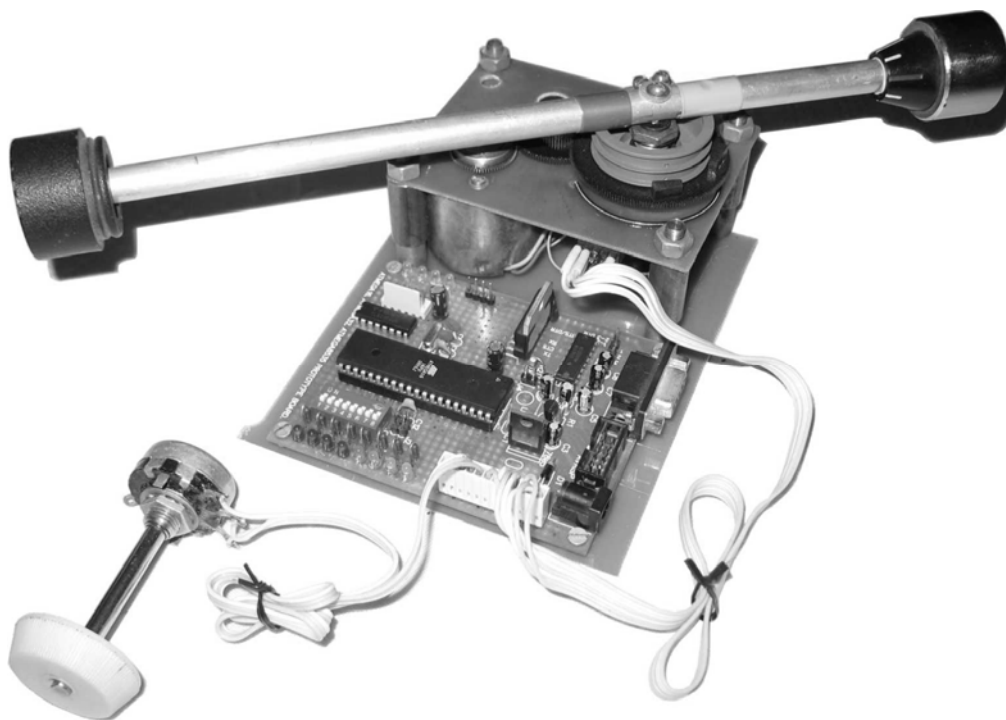


Рисунок 1 – Физическая модель системы наведения

Экспериментальные исследования нейросетевой системы управления с НК, обученным по физической модели. Рассмотрим задачу синтеза нейросетевой системы управления с дискретным нейроконтроллером обучающимся по физической модели объекта.

Воспользуемся для этого методикой синтеза, представленной в [3,4], и произведем настройку нейронной сети с архитектурой 3-10-1 генетическим алгоритмом. Глубины задержек по выходу и входу объекта управления, положим равными:

$$l_1 = 1; \quad l_2 = 0.$$

Тогда закон управления, реализуемый НК, имеет следующий вид

$$u(k) = NC(\varepsilon_\phi(k), \omega_{\phi_m}(k), \omega_{\phi_m}(k-1)),$$

где NC – функция формирования сигнала нейросетевым регулятором; $\varepsilon_{\phi}(k) = \phi_z(k) - \phi_{\phi_m}(k)$ – ошибка по углу; ω_{ϕ_m} – выходной сигнал по скорости с тахогенератора.

Нейросетевые алгоритмы управления успешно реализуются на персональных компьютерах с помощью специализированных и универсальных программных продуктов. Так, популярный пакет MATLAB версий 7.x содержит средства, позволяющие моделировать и обучать нейронные сети по методу генетических алгоритмов. Он содержит специальный модуль Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox позволяющий использовать генетический алгоритм для оптимизационных задач. В данном случае для настройки параметров НК [5].

Микроконтроллер соединен с персональным компьютером (ПК) посредством двух интерфейсов ISP и последовательного порта RS-232. По каналу ISP в микроконтроллер записывается рабочая программа, а через последовательный порт RS-232 происходит обмен информацией с ПК. Функциональная схема работы исследовательского стенда в процессе настройки нейрорегулятора представлена на рис. 2.

Процедура настройки нейрорегулятора состоит из нескольких этапов. На первом этапе происходит запись в контроллер рабочей программы с нейрорегулятором и формирование в рабочей области MATLAB-а переменных параметров системы – матриц весовых коэффициентов нейронной сети.

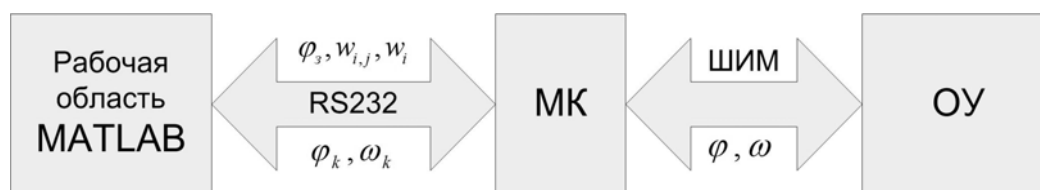


Рисунок 2 – Функциональная схема работы исследовательского стенда: МК – микроконтроллер; ШИМ – широтно-импульсный модулированный сигнал управления исполнительным приводом; ОУ – объект управления; φ_z – сигнал угла задания; $W_{i,j}, W_i$ – матрицы весовых коэффициентов НК; φ_k, ω_k – массивы значений угла и скорости объекта; φ, ω – сигналы с датчиков угла и скорости

На втором этапе происходит настройка параметров НК по программе разработанной в пакете MATLAB [6]. Разработанная в пакете MATLAB программа, реализует генетический алгоритм, а так же обмен данными из рабочей области пакета MATLAB через последовательный порт RS-232 с микроконтроллером. После того, как программа запущена, происходит формирование набора входных сигналов задания, матриц весовых коэффициентов и массивов сигналов обратной связи по углу и скорости объекта управления.

Формирование набора входных сигналов задания происходит программно, поскольку, в ручном режиме (с помощью потенциометра задатчика) его воспроизвести практически невозможно. Формирующая входные сигналы система представляет собой два звена: генератор случайных величин и апериодическое звено с постоянной времени $T_0 = 0.02$ с. На вход апериодического звена подается сгенерированное случайное число с периодом 2 с. Продолжительность подачи задающих сигналов равна 100 с.

В процессе отработки объектом задающих сигналов в рабочей области происходит заполнение массивов данных с датчиков обратных связей по угловому отклонению и скорости объекта управления.

Как и в случае обучения НК по эмулятору объекта в схеме обучения на физической модели также имеется несколько уровней дискретизации. Первый уровень относится к времени дискретности получения значений угла и скорости с датчиков на физической модели, а второй к дискретности сигнала управления. Шаг дискретности сигналов обратных связей равен $\Delta_{oc} = 0.01$ с, а дискретность сигнала управления НК $\Delta_u = 0.02$ с. Таким образом, моделирование переходных процессов в НСУ происходит с шагом Δ_{oc} , а сигнал управления вычисляется раз за два шага расчета по физической модели.

Для оценки качества работы НСУ введем следующий функционал [1,3]

$$I(\varphi_k) = \frac{1}{k_T} \sum_{k=1}^{k_T} \left[E_k \cdot t_k + \gamma \frac{E_k}{t_k + 0.01} \right],$$

где $E_k = ((\phi_z(k) - \phi_{\phi_m}(k)) \cdot t_k)^2$; γ – весовой коэффициент, определяемый экспериментально.

Далее определим область поиска для нейронной сети:

$$w_{i,j} \in [-1,1], i = \overline{0,3}, j = \overline{1,10}, w_i \in [-1,1], i = \overline{0,10}.$$

Таким образом, процедура настройки (обучения) НК представляет собой следующий процесс. После того, как сформированы все массивы данных, происходит вычисление функционала и подстройка весовых коэффициентов нейронной сети генетическим алгоритмом. Далее новые параметры регулятора записываются в микроконтроллер. Тогда снова происходит подача на объект входных сигналов, формирование массивов обратных связей, вычисление функционала и настройка параметров нейрорегулятора. Этот процесс (обучение нейронной сети) повторяется до тех пор, пока не будут найдены такие параметры НК, которые обеспечивают требуемые показатели качества.

Отладка микропроцессорной системы. Прежде чем переходить к физической модели с реальным микроконтроллером, произведем предварительную отладку системы управления с помощью программы компьютерного моделирования электронных устройств ISIS, входящую в состав системы PROTEUS VSM. В отличие от многих других эта программа способна моделировать устройства не только на дискретных компонентах, обычных аналоговых и цифровых микросхемах, но и на микроконтроллерах.

Симулятор дает возможность "заглянуть внутрь" микроконтроллера, сопоставив форму и характер сигналов на его выводах с ходом исполнения программы и изменениями состояния внутренних регистров. К этим регистрам модели (в отличие от реальной микросхемы) всегда имеется доступ. Возможность проверять работу микроконтроллеров всех популярных семейств в реальном масштабе времени и во

експерименту. Как и при обучении, в ходе эксперимента, сигналы задания будет генерировать компьютер. В результате проведенного эксперимента были получены графики сигнала по углу, представленные на рис. 4а,б.

Выводы. В статье рассмотрены вопросы экспериментальных исследований нейросетевой микропроцессорной системы наведения танковой пушки с НК обученным по физической модели объекта.

Анализ, полученных в ходе эксперимента, результатов позволяет сделать вывод о достаточно эффективном подходе к синтезу нейросетевой системы управления. Нейроконтроллер, обученный по физической модели объекта показал лучшие результаты, чем НСУ обученной на НЭ и СУ с ПД-регулятором. Перерегулирование не превышает 3 %, время переходного процесса составляет 0,6 с и количество колебаний в пределах 1 – 1.5. Однако, следует отметить достаточно продолжительное время обучения, которое составило порядка 4-5 часов.

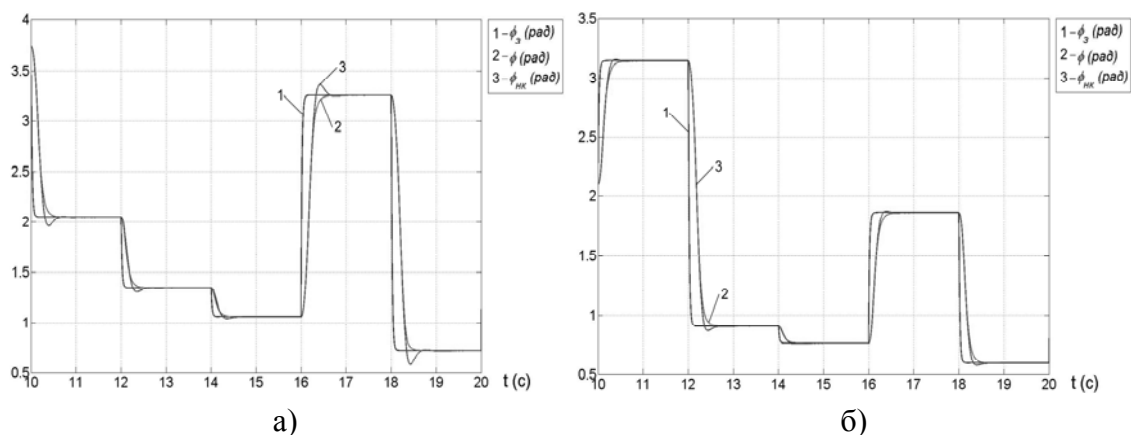


Рисунок 4 – Графики сигнала задания (1), обратной связи по углу для НК настроенного по НЭ (2) и физической модели (3)

Список литературы: 1. Никонов О.Я., Истомин А.Е. Нейрокибернетический подход к проблеме синтеза интеллектуальных систем управления колесных и гусеничных машин Сб. науч. тр. "Автомобиле- и тракторостроение". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. – №10. – С. 51–54. 2. Никонов О.Я., Истомин А.Е. Система нейрорууправления силовым следящим приводом Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХП", 2003. – №27. – С. 20–23. 3. Александров Е.Е., Богатыренко К.И., Истомин А.Е. Физическое моделирование нейросетевой микропроцессорной системы наведения танковой пушки // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2007. – №1. – С. 27–30. 4. Вороновский Г. К., Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. – Х.: Основа, 1997. – 112 с. 5. www.mathworks.com/contact_TS.html. Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox™ User's Guide. 6. Matlab R2007 с нуля.: [пер. с англ.] / Brian R. Hunt [и др.]. - М.: Лучшие книги, 2008. - 352 с.: ил.